

## 세종의 자격루 : (2)자격보시장치

### The King Sejong's Striking Clepsydra: (2) Day and Night Time Announcing System

남 문 현 · 서 문 호 · 한 영 호 (건국대학교)

Nam Moon-Hyon · Seo Moon Hwo · Han Young Ho(Konkuk University)

#### ABSTRACT

The King Sejong's *Striking* water-clock was named for its distinctive *day and night time announcing system*. Its time announcing system generates acoustic and visual signals for the twelve double hour, and combinations of two different acoustic signals for the five night watches. The mechanism of this signal generation system is triggered by a copper ball which is mechanically digitized time keeping signal, and is generated from the water clock. The time announcing system consisted four parts: 1) the mechanical amplifier which changes small copper to heavy steel ball, 2) day time announcing system, 3) night time announcing system, 4) sounding mechanism. The time announcing system of King Seong's Striking Clepsidra is remotely related to the Arabic clock system, however, it does have world-widely distinctive mechanisms of its era, such as mechanical amplifier, self-weight ratchet mechanism, and resetable mechanical computer etc.

Keyword : twelve double-hours(12시), five night-watches(5경), the King Sejong's Striking Clepsydra(세종자격루),

#### I. 서론

고려왕조를 뒤이은 조선왕조가 체제 변화에 대한 국가적인 안정성을 획득하고 통치권력의 정통성을 굳혀가기 시작하는 시점인 세종조에는 통치권력의 정당성을 뒷받침 할 수 있는 수많은 제도와 과학 기기, 특히 천문기기들이 많이 만들어 졌다. 이 천문기기들로서 중국에 의존하였던 역법을 조선 독자적으로 교정 사용하게 되어 독립성이 강조 되었다. 1432년부터 7년간 만들어진 기기들을 보면 해시계인 현주, 정남, 천평, 양부일귀(懸珠, 定南, 天平, 仰釜日晷), 돌시계인 자격루(自擊漏), 옥루(玉漏), 행루(行漏)와 천문시계인 일성정시의(日星定時儀), 그

리고 간의(簡儀) 등이 제작되었다.

이들 기기들 중에서, 자격루와 옥루는 하루 12시와 밤시간 5경 25점을 알릴수 있는 시계로서 별자리와 해의 위치로서 천문학적인 시간을 측정하는 시스템들인 다른 기기와 구별된다. 다시 말하면 다른기기들은 천체의 운동을 기준으로 천문학적시간을 측정하므로 세밀한 시간의 차이의 측정이 어려운데 비해 이 기기들은 두 천문학적시점을 물이라는 매체를 사용하여 천문학적 시간을 등분하는 장치이므로 천체의 운행에 의존하는 방법에 비해 훨씬 세밀한 시각점을 얻을 수 있는 점이 다르다. 자격루와 옥루는 이러한 시간의 등분점을 얻을수 있는데 거치지 않고 이 시점을 시각적 혹은 청각적 수

단을 동원하여 알릴수 있도록 제작하였다. 기록에 의하면 자격루는 불어오는 수위를 제서 수시력(授時曆)에 맞춰 온 하루의 시간인 12시 100각(刻)의 시점을 12지시로 보시하는 부분과 밤시간인 5경(更) 25점(點)을 보시하는 부분으로 나누어져 있다고 기록되어 있다.

장영실 등이 만든 자격루는 1434년 7월 1일부터 공식 표준시계로서 오정(午正), 인정(人定), 파루(罷漏) 등을 시보하는데 사용된 것으로 나타난다.

보시하는 부분의 구체적인 기록은 『세종실록』 권65 : 1가~3나 부분의 <보루각기(報漏閣記)> 에 함축적으로 기술되어 있다. 즉 각 보시 시점은 물시계에서 발생시키는 구리구슬에 의해 12시의 경우는 매 시마다 종을 울려 청각적으로 알리고 동시에 각 시에 해당하는 12지신 인형을 나타나게 하는 인형기구(jackwork mechanism)를 동작시켜 그 점 이후 다음 시점까지가 무슨 시(時)인가를 시패로 알리는 종표(鍾表) 기구로 되어 있다고 기술되어 있다. 5경과 매경의 점을 알리는 인형기구는 매우 복잡한 보경(報更) 및 보점(報點) 시스템으로 되어 있다. 매경과 그것의 초점(初點)은 복과 징으로, 2점부터 5점까지는 징만을 울려 점의 수를 알리게 되어 있다.

세종실록의 기록은 이렇게 시청각 장치를 사용하여 보시하므로 해서 그 당시 시각을 알리는 역할을 하던 사람(鷄人)들의 어려움을 덜게 하려고 하였다는 기록이 있다. 이 점은 세종의 과학기기 창제가 국가적인 목적 뿐만아니라 인본적인 점까지 섬세히 감안하였다는 것을 알 수 있다.

세종의 자격루를 연구함에 있어서 <보루각기> 기술은 매우 함축적으로 되어 있어서 그 해석이 매우 어렵다. 불행히도 이들 세종조에 만든 자격루와 옥루는 임진왜란때 다 파괴되고 유실되어 유물은 하나도 남아있지 않다. 더구나 기기에 대한 설계도나 모사한 그림 등의 입체적인 구조에 관한 그래픽 정보도 발견된 것이 없다. 그 구조를 추측할 수 있는 부품으로서 현재 덕수궁에 남아있는 임진왜란 뒤 중종조에 만들어진 자격루의 유물이 전부이다.

본 논문은 <보루각기(報漏閣記)> (『세종실록』 권65 : 1가~3나)의 내용을 기준으로 주위 정보들 집합하여 함축적으로 기록된 자격루의 12시(十二時) 및 경점(更點) 보시장치의 구조와

동작원리에 관한 수수께끼를 본 연구진의 오랜 노력에 의해 재현한 구조를 설명한 것이다.

## II. 자격보시장치

### 1. 자격 보시장치의 전체적인 구조

자격루의 자격보시장치는 물시계의 수수호 부분에서 방출된 구리공이 방목아래부분과 자격보시장치부분 사이에 연결된 평판 이후 부분을 말한다.

방목에서 방출된 구리공이 평판위를 굴러 자격보시장치를 깨우게 된다(trigger). 보시장치를 움직이게 하는데 이에 상당한 힘이 필요하다. 기기장치에서 이런 힘의 근원이 될 수 있는 것은 위치에너지와 하중이다. 따라서 하중이 작은 탄환크기의 구리공으로는 보시장치를 운전하기에는 힘이 부족하다. 하중이 작은 구리공을 하중이 큰 철환으로 대체시킴으로 하중증폭효과를 주는 역학적 증폭기에 해당한다. 이 장치는 입력으로 들어온 조그만 탄환모양의 구리구슬이 달걀크기의 철환을 한 개의 구리공당 한 개씩 대응하여 방출시킨다.

이렇게 방출된 철환에 의해 12시 보시장치의 경우는 각 시점마다 종을 한 번치고 보시용 시신인형을 들어 올리고 2차적으로 인형이 달린 평륜(平輪)을 일정각 회전시킨다. 이에 비해 경점기의 경우는 이 철환에 의해 각 경(更)과 점(點)의 숫자에 해당하는 수 만큼 회수의 복과 징을 치게 되어 있어서 그 근본적인 기구구조가 12시 보시시스템과는 다르다.

철환에 의해 구체적으로 소리를 내게 되는 부분은 지렛대의 원리를 이용하여 인 인형을 동작시키는 부분으로 이는 위의 어느부분과도 다르다. 따라서 자격루의 보시부분은 크게 네 부분으로 나눌 수 있다.

- 가. 동통 및 철환 방출장치
- 나. 12시 보시장치
- 다. 경점 보시장치
- 라. 소리내는 장치

### 2. 동통 및 철환 방출장치

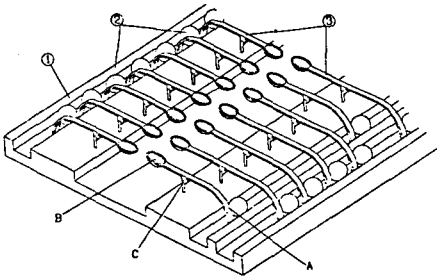
물시계로 부터 방출된 한 개의 구리구슬이

보시장치에 입력되어 대응하는 한 개의 철환을 방출시키기 위해서는 입력된 일대일의 스위칭 기구가 필요하다.

<보루각기>의 기록에 의해 복원해 보면 이 부분에서는 25개와 12개의 구멍이 뚫린 동통이 각각 1개씩 있으며 이 구멍들은 구리구슬이 지나가다가 아래로 낙하하면 스스로 닫혀져 그 다음에 오는 구슬이 먼저 구멍을 통과하여 다음구멍으로 낙하할 수 있게 되어 있다.

이 각 동통의 밑에 4개의 칸막이가 있는 철환보유장치(ball rack)가 있고 철환이 12개와 5개, 20개가 따로 보관되어 있다. 이장치에 달린 숟가락 모양의 기구가 동통에 뚫린 구멍 바로 밑에 가로 놓여 있으며 숟가락 부분의 반대쪽 굽어진 부분이 철환을 막고 있다. 구리공이 동통의 구멍으로 낙하하면 이 숟가락부분을 눌러 반대쪽에서 철환의 움직임을 막고 있던 부분을 풀려주어 철환을 방출시키도록 되어 있다고 설명 되어 있다. 즉 숟가락장치가 철환방출 스위치에 해당한다.

이 기술내용을 기초로 가능한 모델을 설계한 것이 그림 1과 같다.



① 기판 구조물 ② 철환 ③ 숟가락 기구

(Drawing of steel ball release mechanisms ① ball storage and runway

② steel balls ③ spoon mechanisms)

< 그림 1 > 철환방출장치

3. 12시 보시장치

<보루각기>의 12시 보시장치에 관련된 기록의 중요한 부분을 요약해 보면 다음과 같다. 각 시점을 알리는 종은 위층에 설치되었으며 시신(時神)인형의 팔뚝을 건드리면 종을 치게 된다. 가운데 층에는 수평방향으로 누운 평륜에 12시 시신을 설치하여 밀어올리는 장치에 의해 오르내리도록 하였다. 각 시점에서 철환방출장치로부터 굴러온 철환이 위층의 짧은 통으로 굴러들어와 하중 및 운동량으로 숟가락 기구를

하강시켜 시신의 팔뚝을 건드려 종을 한 번 치는 동시에 하중으로 전 기간의 시신을 받히고 있는 먼저 온 철환의 움직임을 막고 있는 문을 열어 그 철환을 방출시켜 전 시간의 시신이 발아래 부착되어 있는 철륜이 구리판을 타고 잠시도 쉬지않고 내려오며 동시에 시신을 떠 받혀주던 막대부분이 풀려나서 제자리에 돌아온다.

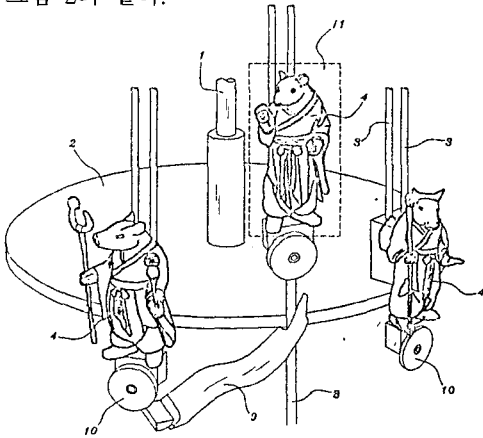
이 때 종을 친 철환은 다시 원주에 붙어있는 통으로 굴러가서 막대의 끝을 눌러 지렛대의 역할로서 그 다음 시신을 밀어 올린다. 시신이 평륜의 일정한 위치에서 상하 운동을 하기 위해서는 인형이 철조에 고정되어 있으며 지렛대가 밀어주면 철조를 타고 상승하도록 되어 있다. 시신의 하강은 제렛대를 눌러주던 철환이 제자리를 벗어 나면 자중에 의해 진행되도록 되어 있던 것으로 추정된다.

각 시점을 나타내는 시신은 12개로서 한 시점이 끝나면 새로운 시신으로 대체되어야 한다. 이를 위해서는 평륜이 수평으로 해당하는 각 만큼(30도) 회전시키는 장치가 필요하다. 그러나 김돈이 쓴 <보루각기>에는 이 평륜의 회전 부분에 대해서는 구체적인 언급이 없었다. 쉽게 가정될 수 있는 방법은 톱니바퀴를 이용하여 회전 방향을 바꿔주는 방법이다. 자격루와 비슷한 시기에 제작된 혼의와 혼상이 중국의 전통적인 수격식 회전구동에 따랐던 사실로 부터 톱니바퀴에 의한 회전운동 전달방식이 천문기기 제작에 보편적으로 사용되었으나 자격루의 보시장치에 응용될 만한 중국의 기술이 거의 없었으며 설혹 있었다 하더라도 이용된 흔적이 없다. 여기에 세부부품의 설명이 비교적 많은 김돈의 <보루각기>에도 톱니 바퀴에 대한 기록이 없다. 이 정도의 기술이 필요한 톱니장치가 천문기기에 응용된 때는 임진왜란 후 서양의 자명종이 도입된 이후로 짐작된다. 보시기구에 이러한 톱니바퀴가 이용된 예는 현종때 송이용이 만든 혼천의에서 볼 수 있다. 평륜의 회전 동작부분에 대한 검토를 위해 평륜 및 인형의 동작에 관한 <보루각기>의 다음 기사를 인용하여 보자.

“바퀴가 도는 원리는 다음과 같다. 평륜밖에 작은 판을 가로 놓는데 길이는 한자 가량으로 그 가운데는 4, 5寸 쯤 되는 직사각형의 구멍을 판 다음, 구리판(미끄럼판)을 그 위에 가로

걸치고 그 자세를 약간 기울이게 한다. 판의 한쪽 끝에 축을 설치하여 여닫을 수 있게 한다. 시신의 발이 처음에 구리판의 아래로 반치쯤 들어 갔다가 구리판이 열리면 시신은 위로 올라가고, 올라간 후 판위의 구멍을 막아준다. 그 시가 다하면 시신이 평륜면에 되돌아 오면서 시신의 발아래 달린 쇠바퀴가 구리판을 타고 돌면서 내려온다. 잠시도 머무를 수 없다. 다음의 시신도 역시 마찬가지로 오르내린다...

이 기사의 밑줄 친 부분과 하강이 자중에 의해 이루어 진다는 점을 고려하면 경사진 바닥에 가해지는 중력작용은 지구중심에 대한 수직성분과 수평성분력으로 분해될 수 있으며 이 수평성분력이 평륜의 접선방향으로 작용하는 토오크가 되며 평륜을 돌리는 힘이 될 수 있다. 이렇게 회전하는 평륜은 경사진 구리판이 평륜에 붙어 있는 그 다음 시신과 만날 때까지 회전하게 되므로 일정 각도의 제어된 회전이 가장 간결하게 달성될 수 있었다. 김돈이 <보루각기>에서 평륜의 구동부분을 더 이상 직접적으로 묘사하지 않은 것은 이 러한 간결하고도 확실한 장치 때문일 것으로 추정된다. 이 부분을 그려보면 다음 그림 2와 같다.



<그림 2> 평륜의 인형 구동 부분

## 2. 경점보시장치

<보루각기>의 기록에 따르면 경점기는 경점을 치는 부분과 초점을 치는 부분으로 크게 두 부분으로 나눌 수 있으며 각각 한개의 圓柱와 한개의 方柱로 구성되어 있다. 각 원주에는 각각 북과 장을 치는 인형의 팔을 움직이는 연결 장치(linkage)가 있다고 기록되어 있다.

이 장치의 가장 중요한 점은 각 시점마다 북이나 장을 치도록 함은 물론 동일한 동작을 일정 시간간격으로 자동적으로 반복할 수 있게 만들어 졌다는 점이다. 이 반복기능이 이 장치의 가장 독특하며 뛰어난 점이다.

기기의 전반적인 구조를 보면 수수용호쪽에서 보아 왼쪽에 경점장치가 있고 오른쪽편에 초점장치가 있다. 경점장치의 구조는 원형의 속이 빈 원기둥인 左圓柱와 속이 빈 사각기둥인 左方柱로 이루어져 있다. 초점기 부분도 역시 하나의 속이 빈 원기둥인 右圓柱와 하나의 右方柱로 이루어져 있다. 본 장치는 경점기와 초점기의 동일구조이면서 동작순위가 서로 단계적인 2중 구조로 되어 있다.

본 장치의 기본적인 동력은 철환의 위치 에너지이다. 철환이 낙하하면서 원주에 장착되어 밖으로 돌출된 손가락모양의 쇠공받음장치를 철환의 하중과 충격력으로써 눌러주면 이 힘으로 원주 안쪽에 있는 인형팔 연결장치를 상승시켜 인형의 팔이 다시 북이나 장을 순간적으로 두드려 그 소리의 숫자로서 각 시점을 지시하도록 되어 있다.

기기의 세부구조는 그 동작순서를 검토하면 쉽게 이해된다. 조선시대의 밤시간시스템은 밤시간 전체를 5경으로 나누고 각 경을 다시 5점으로 나누어서 도합 25개의 시각점으로 나타내었다. 각경과 각점은 동일한 시간을 2수준으로 나눈 방법이다. 밤시각 순서를 보면, 첫 시각점이 1경 초점이며 다음이 1경 2점 등으로 하여 마지막이 5경 5점으로 되어있다. 각 경점에서는 경점의 수 만큼의 북소리를 내도록 설계되었으며 각 점에서는 역시 점의 수 만큼 장을 치도록 설계되었다.

이렇게 이루어진 밤시각점의 수는 25개로 이루어 지며 이 시점을 25개의 철환으로 보시하여야 한다. 이에 비해 표시될 소리의 수는 5경점과 각 경의 점들  $5 \times 5 = 25$ 개를 합쳐 30개의 소리조합으로 이루어져 있어서 각 경의 초점에 동작하는 철환은 각 경점의 수에 해당하는 수로 북을 친 뒤, 장을 한 번 치도록 되어야 한다. 한 개의 철환이 북을 치고 장을치기 위해서는 각 경점을 친 철환이 어느정도 거리가 떨어져 있는 장을 치는 장치로 굴러가서 다시 장을 한 번 치도록 설계되어야 하므로 두 부분 사이에는 철환이 굴러갈 안내길, 즉 경사진통(斜管)이 필요하며 이 통을 잡아 줄 부분이 필

요하다. <보루각기>의 기록에 좌방주와 우방주가 나란히 설치되고 그 사이에 좌방주가 설치되어 있는 이유는 좌방주의 복을 친 철환이 우원주의 징을 칠 수 있도록 해주는 사관(斜管)을 잡아주기 위한 것이다.

이러한 기기조합에서 필요한 중요한 기술상의 문제는 두가지가 있다. 그 하나는 철환이 발생시키는 소리의 수가 낙하순서에 일치하는 수대로 내는 기능과 다른 하나는 점기의 2점에서 5점을 칠 수 있는 기능을 1경서부터 5경까지 동일한 동작을 순서대로 반복할수 있는 기능이다.

소리를 낙하 순서대로 발생시키려면 먼저 낙하한 철환이 나중에 낙하하는 철환에게 한번의 소리를 더 낼 수 있는 장치를 조작해 주어야 한다. 즉 낙하한 쇠공은 소리를 발생시킨 뒤 그 다음 쇠공의 낙하거리를 증가시킬수 있는 장치를 동작시켜야 한다. <보루각기>는 이 장치 부분을 다음과 같이 기술하고 있다

“... 그 굴러 들어오는 곳에 장치를 하여 처음에는 경을 치는 구슬의 길을 막았다가 구슬이 굴러 들어오면 들어온 길은 닫히고 경을 치는 구슬의 길이 열리는데 나머지 경도 모두 그렇게 된다...”

이 증가 동작은 1점에서부터 5점까지 계속 증가하다가 5점을 친 뒤 처음부터 다시 처음부터 1점부터 시작한다. 이것은 마치 0을 제외한 6진법의 제일 첫째자리의 수의 변화상태와 같다. 이런동작이 가능해 지기 위해서는 5점을 친 철환이 전시스템을 원래대로 환원시키는 되돌리기장치(reset)가 있어야 한다. <보루각기>는 이 장치 부분을 다음과 같이 기술하고 있다

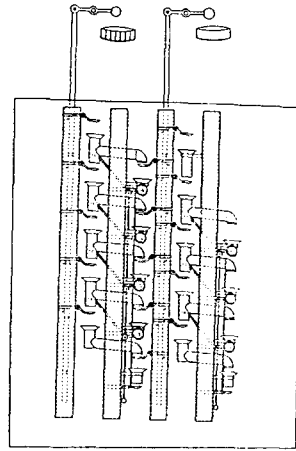
“... 5점을 친 구슬이 떨어져서 그 맨 아래의 장치를 움직이게 되면 장치들을 연결한 쇠줄이 차례대로 문을 열어서 앞의 세 개의 구슬과 한꺼번에 모두 떨어진다...”

그림 3은 자격루의 경점기부분의 전체에 대한 개략도이다. 자격루의 경점기부분은 그 기능상 가장 중요하고 기술상으로 그 시기의 가장 우수한 독창적 장치적 특성중의 하나이다.

### 5. 소리내기 장치

자격루는 각 시점은 종, 북 및 징의 소리로서 알리게 된다. <보루각기>의 기록을 보면 “... 철환이 떨어지면서 장치의 숟가락을

움직이게 하면 이 장치의 다른쪽 끝이 통속으로부터 올라와 시의 신을 맡은 신의 팔꿈치를 건드려 종을 울리게 한다. 경이나 점도 마찬가지이다...”



<그림 3> 자격루 경점기 부분

이 기술의 내용은 철환이 낙하하면서 원주 밖으로 돌출해 있는 공을 받기 적합한 숟가락 부분을 눌러 하강하면 원주 내부에 있는 인형 연결부품이 상승하여 시신의 팔꿈치를 돌려서 북을 치고 징을 쳐 소리를 내게 된다.

## III. 결어

세종조에 만들어진 자격루의 경점기는 그 구조면에서 외래 기술의 기본 개념위에 장영실 등의 천재적인 아이디어가 기계적인 증폭기, 기계적컴퓨터의 개념이 포함된 기계적 디지털 시계의 심장부분으로서 그 당시 이미 세계화된 문화의 능력을 보여준 우수한 기계이다.

[\* 본 연구를 지원해 주신 과학기술처와 과학기술정책관리연구소에 감사를 드립니다.]

### 참고 문헌

- 『世宗實錄』 卷 六十五.
- 남문현 등, 『전통과학 기기의 복원기술개발』, 과학기술처 제 1차년도 보고서(1995. 10) 및 최종 보고서 1996. 10.
- 남문현, 『한국의 물시계』 -자격루와 제어계측공학의 역사, 건국대 출판부 1995.
- Nam M. H., Han D. Y., and Jeon S. W., "A Flow Regulating System for the Reconstruction of the King Sejong's Striking Water-Clock", 7th Int. Conf. History of Sci. China, Jan. 19-21, 1996, Shenzhen, China.